18268

Tome 2

en hommage au Professeur [illegible]

[illegible]

RAPPORTS

SUR LES TRAVAUX

DE

René **MARAGE**

DOCTEUR EN MEDECINE ET DOCTEUR ES SCIENCES
CHARGE DE COURS A L'UNIVERSITE DE PARIS

RAPPORTS

SUR LES TRAVAUX

DE

René **MARAGE**

DOCTEUR EN MÉDECINE ET DOCTEUR ÈS SCIENCES
CHARGÉ DE COURS A L'UNIVERSITÉ DE PARIS

RAPPORTS

SUR LES TRAVAUX

DE

René MARAGE

DOCTEUR EN MÉDECINE ET DOCTEUR ÈS SCIENCES
CHARGÉ DE COURS A L'UNIVERSITÉ DE PARIS

I.

BULLETIN DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
16 novembre 1897, page 441.

I. *Sur le concours du Prix Buignet*, au nom d'une Commission composée de MM. Riche, Gariel et Guignard, rapporteur.

Les candidats au prix Buignet étaient au nombre de sept. M. Baudran, pharmacien dans l'Oise, a adressé à l'Académie deux mémoires portant, l'un sur le dosage des matières albuminoïdes du lait de femme, l'autre sur le poivre et ses falsifications; M. Félix Masure, un volume intitulé *Recherches sur les bons vins naturels;* M. Denigès, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Bordeaux, cinq mémoires imprimés sur divers sujets de chimie; M. Camille Vieillard, pharmacien à Paris, un ouvrage sur l'urine; M. le Dr Chiaïs, de Menton, une étude sur la climatologie comparée de Menton et de Paris; M. le Dr Marage, de Paris, deux notes sur un nouveau cornet acoustique; M. le Dr Bordier, médecin électricien à Lyon, un précis d'électrothérapie.

La Commission a pensé que, parmi ces travaux, elle devait

distinguer, avant tout, ceux qui apportent des faits inédits et réalisent un progrès sur l'état antérieur de nos connaissances.

Sous ce rapport, les mémoires de M. Marage et de M. Denigès occupent le premier rang.

Jusqu'ici, on n'a guère demandé aux cornets acoustiques qu'une qualité : l'intensité du son, sans se préoccuper de savoir si la hauteur et le timbre sont modifiés, si le malade n'est pas fatigué et si la surdité n'est pas aggravée par l'usage prolongé de l'appareil.

A la suite de recherches physiques et physiologiques faites dans le laboratoire de M. Marey, M. Marage a imaginé un appareil qui, tout en augmentant l'intensité des vibrations, leur laisse leur hauteur et leur timbre, ne fatigue pas les malades et peut agir en même temps comme moyen thérapeutique pour masser le tympan et la chaîne des osselets.

L'instrument consiste essentiellement en une petite caisse cylindrique en bois, en ébonite ou métal, divisée au centre par une membrane de baudruche ou de caoutchouc, susceptible de vibrer sous l'influence du son. Les deux compartiments separés par cette membrane communiquent, l'un avec une embouchure tronconique destinée à recevoir les sons, l'autre avec un tube en caoutchouc plus ou moins long dont l'extrémité s'introduit dans le conduit auditif externe.

Quand on applique les lèvres sur l'embouchure, les vibrations sonores transmises à la membrane se communiquent à l'air de la caisse et du tuyau ; non seulement l'auditeur entend parfaitement la voix parlée, mais la voix chuchotée elle-même est perçue avec une grande netteté.

En comparant l'appareil aux cornets acoustiques habituels, afin de connaître les modifications apportées par la nature de la membrane, M. Marage a trouvé qu'il existe une grande différence entre les vibrations qui se produisent dans les cornets ordinaires et dans son nouvel instrument. La preuve en est fournie par l'emploi des flammes manométriques de Kœnig.

On sait que Kœnig a fait connaître un moyen d'analyser les sons et de rendre visibles à l'œil les vibrations sonores. La méthode consiste essentiellement à transmettre le mouvement

des ondes émanées d'un corps sonore à des flammes de gaz qui, par leurs trépidations concordantes, indiquent la hauteur du son. Les modifications de la flamme sont rendues sensibles par l'emploi d'un miroir tournant, sur les faces duquel on aperçoit son image.

Mais une telle image, on le conçoit, ne peut être fixée dans ses grands traits que par le dessin. M. Marage a pensé à photographier les flammes en utilisant les méthodes ingénieuses de M. Marey; et, comme la lumière du gaz n'était pas assez photogénique, il a eu recours à l'acétylène. En outre, au lieu de photographier l'image obtenue avec un miroir tournant, il a employé un appareil dans lequel la plaque sensible se déplaçait devant l'objectif.

En cherchant, par ce procédé, quelle est la flamme caractéristique de chaque voyelle, M. Marage a obtenu des résultats beaucoup plus précis que ceux de Kœnig. Il est parvenu de la sorte, non seulement à construire un appareil fondé sur des principes réellement scientifiques, mais encore à réaliser un progrès important dans l'étude des phénomènes de cette partie de l'Acoustique

II.

REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES PURES ET APPLIQUÉES, 30 mai 1898, page 428 (*Revue annuelle de Physique*, par LUCIEN POINCARÉ).

X. — ACOUSTIQUE.

L'Acoustique, qui fut un peu négligee pendant un temps, considérée sans doute comme un chapitre achevé de la Physique, est, depuis quelques années, au contraire, l'objet de fructueuses recherches. Bien des points restent encore à élucider, et derrière les maîtres on peut encore glaner avec profit.

M. MARAGE a fait une remarquable étude des voyelles en se servant comme réactif des flammes sensibles, photographiées à l'aide des miroirs tournants, d'après la méthode de Kœnig, et il a pu ainsi trouver la caractéristique des voyelles parlées. Au point de vue physique, nous signalerons surtout les résultats obtenus relativement à l'influence des différentes parties de l'appareil et les modifications que font subir au son les cornets acoustiques. Récemment, M. MARAGE indiquait également comment les différentes parties d'un phonographe altèrent le timbre et la hauteur d'un son, et comment on peut remédier à ces altérations.

III.

REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, 15 et 30 juin 1898, pages 445-456 et 482-490, par J. MAREY, de l'Académie des Sciences, professeur au Collège de France.

L'INSCRIPTION DES PHÉNOMÈNES PHONÉTIQUES.
Première partie : Méthodes directes.

L'inscription des mouvements de la parole est une des applications les plus hardies de la méthode graphique. Quoi de plus complexe, en effet, que les mouvements des lèvres, de la langue, du voile du palais et du larynx d'une personne qui parle ! On a cependant réussi à traduire, sous forme de courbes, toutes les phases de ces mouvements; on a même fixé, en des photographies instantanées, les attitudes successives des organes phonateurs. Bien plus, on a saisi les sons eux-mêmes, en créant des appareils assez délicats pour vibrer sous l'action des ondes aériennes et pour en retracer les caractères avec leurs nuances les plus délicates.

C'était une entreprise bien tentante que celle d'exposer les phases de l'évolution de cette méthode, mais la tâche était difficile. Heureusement, des hommes qui ont fait de ce sujet une étude spéciale, des acousticiens comme R. Kœnig, des phonétistes comme l'abbé Rousselot, ont rassemblé sur ce sujet des renseignements précieux. En outre, certaines études de phonétique graphique ont été faites dans mon laboratoire, d'autres s'y poursuivent encore; c'est à ces sources diverses que j'ai puisé les éléments du présent article

Dans un exposé de ce genre, la principale difficulté tient à la multiplicité des moyens dont on s'est servi pour traduire graphiquement les actes phonétiques ou les sons de la voix. Tantôt on transmettait à des appareils inscripteurs les actes mécaniques des organes de la parole, tantôt on faisait agir les

vibrations sonores sur des membranes munies de styles, qui les retraçaient sur une glace enfumée; d'autres fois, on recourait à des flammes qui vibraient sous l'influence des sons et dont les images, dissociées par un miroir tournant ou photographiées sur une plaque en mouvement, traduisaient aussi par des courbes les divers sons de la voix. Enfin, l'invention du phonographe d'Edison a ouvert aux expérimentateurs une voie nouvelle : les empreintes que la parole grave sur le cylindre de cire ont été étudiées au microscope, traduites en courbes planes, et même soumises à l'analyse mathématique.

Tous ces moyens divers d'analyser les sons n'ont pas été employés successivement; chacun d'eux ne correspond pas à une phase de l'évolution de la méthode; chacun d'eux, au contraire, s'est perfectionné d'une manière indépendante et est resté constamment en usage — quand il répond mieux que tout autre à des besoins spéciaux.

Dans ce sujet complexe, une division s'impose : elle consiste à traiter séparément, d'une part les mouvements physiologiques des organes de la parole et, d'autre part, les sons que ces organes produisent et qui se transmettent dans l'air.

Après l'exposé des ressources diverses dont les phonétistes disposent, il faudra déterminer le degré de précision que chacune des méthodes est capable d'atteindre; essayer de les contrôler l'une par l'autre, chercher l'explication de certaines discordances dans les résultats obtenus, et poursuivre enfin, dans les conditions les plus favorables, la solution des nombreux problèmes de la phonétique expérimentale.

I. — *Inscription des mouvements exécutés par les organes phonateurs.*

Il est extrêmement difficile de saisir les actes physiologiques de la parole; on n'aurait sans doute jamais poussé bien loin l'étude de ce mécanisme compliqué, si les linguistes n'en avaient montré l'importance.

Ces savants avaient vu, en comparant les langues d'origine commune, qu'elles évoluent suivant des lois précises. Ainsi, une même consonne, le *c* ou le *t*, par exemple, placée entre deux

voyelles, disparaît en passant du latin au français. Les voyelles elles-mêmes subissent des altérations; l'*a*, en anglais, prend tantôt le son de l'*è*, tantôt celui de l'*o*. Des phénomènes semblables se sont produits pour les langues mortes dont nous comprenons les textes, tandis que nous n'avons qu'une idée très vague de la façon dont elles étaient prononcées.

Cette évolution du langage est-elle soumise à des lois déterminables, à celle de la *moindre action*, par exemple, en vertu de laquelle tout acte physiologique tend à s'effectuer avec le moins d'effort possible ? Les linguistes l'ont pensé, mais, pour contrôler cette hypothèse, il fallait, au préalable, connaître avec une précision rigoureuse le mécanisme de la formation des divers sons du langage.

Une délégation de la Société de Linguistique, conduite par son président, M. Vaïsse, vint me trouver au commencement de l'année 1875 afin de savoir si la méthode graphique se prêterait à l'analyse des mouvements extrêmement rapides et complexes qui se produisent dans la parole; si elle pouvait fournir une trace objective des actes exécutés par la cage thoracique, le larynx, les lèvres et le voile du palais dans l'articulation des différents *phonèmes* (1), en indiquant la manière dont ces actes se succèdent ou se combinent suivant les différents cas.

L'entreprise me parut réalisable, d'autant plus que je possédais déjà les instruments nécessaires pour l'inscription des mouvements respiratoires, et que l'arsenal physiologique permettait d'inscrire des actes aussi délicats et aussi complexes que les mouvements des lèvres ou de l'air déplacé dans l'articulation des sons.

La figure 1 montre (2) le premier dispositif auquel j'ai recouru pour l'analyse des actes de la parole. On explorait simultanément trois actes : l'émission de l'air par les narines qui se produit dans certains sons, la vibration du larynx et les mouvements des lèvres.

Des explorateurs spéciaux servaient à chacun de ces usages,

---

(1) Expression introduite par M. Champion pour indiquer les groupes de sons qui constituent le langage parlé.

(2) Les figures paraîtront à part.

tandis que trois tambours à léviers (1) superposés traçaient ces trois phénomènes avec leurs rapports de succession, de durée et d'intensité.

Pour l'émission de l'air par le nez, phénomène qui signale les mouvements d'abaissement du voile du palais, un tube de caoutchouc introduit dans une narine se rend à un tambour inscripteur. Ce tube et le tambour correspondant portent, dans la figure, le n° 1.

Les vibrations du larynx provoquaient, dans un appareil électromagnétique appliqué sur le larynx, des ruptures et clôtures de courant qui se transmettaient au tube et au tambour n° 2.

Enfin, les branches d'un explorateur spécial, saisies entre les lèvres, se rapprochaient ou s'écartaient avec elles en actionnant, au moyen d'un tube à air, le tambour n° 3 (2).

Mon confrère, L. Havet, se chargea de diriger les recherches au point de vue phonétique, tandis qu'un de mes élèves, M. le Dr Rosapelly, exécutait les expériences. Les premiers résultats furent encourageants, car nous réussîmes à caractériser graphiquement les différentes consonnes ou groupes de consonnes. Mais les voyelles se traduisaient toutes de la même manière; l'inscripteur indiquait seulement si le larynx vibrait ou non pendant l'articulation des divers sons. Or, cela suffisait, en certains cas, pour caractériser une consonne, qui, sauf la vibration du larynx, eût pu se confondre avec une autre; le *p*, par exemple, ressemble au *b* par les actes que les lèvres exécutent et par la pression de l'air dans les fosses nasales, mais, pour la production du *b*, le larynx vibre, tandis qu'il est muet dans l'articulation de la consonne *p*.

Il est inutile d'insister sur la caractéristique graphique des différents phonèmes; M. Rosapelly en a dressé un tableau que nous reproduisons (*fig.* 2).

Dans ce tableau sont rassemblées, en quinze compartiments, les inscriptions des différents phonèmes constitués par la voyelle *a* accompagnée de différentes consonnes.

---

(1) Voir *La Méthode graphique*, p. 446. Paris, G. Masson, 1884.

(2) Pour le détail des appareils et de leur fonctionnement, voir *La Méthode graphique*, p. 390.

Ces phonèmes sont classés en cinq séries, de trois chacune, désignées, de haut en bas, par les lettres A, B, C, D, E. Dans chaque compartiment sont inscrites les syllabes prononcées, et, en dessous, les courbes des différents actes phonateurs qui servent à leur production.

La désignation de ces actes se trouve dans la première colonne, sous la rubrique *repères;* on y trouve, pour chaque phonème, les indications suivantes :

1° P. n. *Pression nasale.* — Un appareil manométrique inscripteur (*fig.* 1) trace une ligne horizontale s'il n'y a pas émission d'air par les narines; une élévation de la courbe s'observe dans les phonèmes où l'émission se produit.

2° V. l. *Vibrations du larynx.* — Le tambour n° 2, actionné par un trembleur électromagnétique, indique, par une ligne sinueuse, que le larynx vibre; si le larynx est silencieux, le style trace une ligne droite.

3° M. l. *Mouvements des lèvres.* — Le troisième style trace une ligne horizontale quand les lèvres sont ouvertes; la ligne s'abaisse plus ou moins selon que les lèvres sont plus ou moins rapprochées; la durée de cet abaissement correspond à celle de l'occlusion des lèvres.

Avec ces triples indications, les différents phonèmes se distinguent les uns des autres. Avec un peu d'habitude, on arrive à lire très facilement ces inscriptions; on y trouve tous les éléments de la formation des différents actes de la parole. Nous ne pouvons entrer dans le détail d'une telle analyse; on le trouvera très complet dans le travail de M. Rosapelly [1].

Dès le début de ces expériences, on pouvait prévoir que les différents actes des organes phonateurs se caractériseraient par les courbes dont on vient de voir des spécimens, mais l'étonnement des expérimentateurs fut au comble quand M. Havet leur apprit que l'inscription phonétique venait de résoudre un important problème de linguistique, soulevé par les Hindous, mais non encore résolu. Le voici :

---

[1] Rosapelly, *Inscription des mouvements phonétiques*, in *Travaux du laboratoire de M. Marey*, p. 109-131. Paris, 1875, G. Masson.

On sait que les Hindous attachent une idée religieuse à la prononciation correcte des textes sacrés; aussi ont-ils minutieusement étudié l'articulation des sons et en ont-ils tracé les règles dans un traité qui date de plus de deux mille ans, les *Prâticâkhya* des livres védiques. Or, ce traité mentionne des sons articulés spéciaux, non représentés dans l'écriture; il nous apprend que ces sons *consonnantiques* s'intercalent dans la prononciation, à l'intérieur des groupes tels que *kn*, *km*, *tn*, *tm*, *pn*, *pm*, etc., groupes dont le premier élément est une des consonnes que nous appelons *muettes*, tandis que le second élément est une consonne nasale. Le son intermédiaire est considéré comme formant paire avec la *muette* qui précède, et les Hindous l'appellent *yama* (jumeau). C'est un jumeau de la muette et non de la nasale, et pourtant les Hindous nous apprennent que le nez concourt à la production des « yama ». Or, pendant la formation de la consonne muette, qui commence le groupe, le voile du palais est fermé; d'autre part, il est ouvert au moment de la formation de la consonne nasale. Si le « yama » s'accompagne aussi d'un mouvement du voile du palais, à quel moment cette ouverture a-t-elle lieu ? La linguistique hindoue ne résout pas cette question; du reste, l'observation pure ne permet pas de dissocier ces deux actes.

Mais la méthode graphique lève tous les doutes à cet égard en montrant que, dans la prononciation du yama de *p* dans *apma*, le voile du palais s'ouvre avant l'acte labial qui signale l'émission de la consonne *m*.

D'après M. Havet, le yama, pour n'avoir pas été signalé dans les langues européennes, n'en existe pas moins chez elles; l'allemand comme le français le présentent, toutes les fois qu'une consonne muette se trouve placée devant une nasale.

On ne poussa pas plus loin, dans mon laboratoire, l'inscription des phénomènes phonétiques, mais la méthode s'est conservée. Il a été fondé recemment, au Collège de France, un laboratoire de Phonétique expérimentale, que dirige M. l'abbé Rousselot. A nos anciens instruments ce savant en a ajouté d'autres, qui vont explorer et inscrire les élévations et les abaissements du larynx, les mouvements horizontaux des lèvres, les déplacements de la langue et du voile du palais. L'auteur décrit en détail ces

instruments divers dans son traité de *Phonétique expérimentale* (1).

Avec son outillage perfectionné, l'abbé Rousselot poursuit ses études phonétiques; il a soumis à l'analyse graphique la prononciation de certains patois de France et se propose de rechercher la solution de divers problèmes relatifs à la Linguistique.

La méthode que j'ai designée sous le nom de chronophotographie (2) et qui consiste à prendre une série d'images instantanées d'un corps en mouvement, à raison de quinze à trente images par seconde et même davantage, se prête très bien à l'étude des actes de la phonation. Ces changements extérieurs de forme que l'œil ne peut pas suivre à cause de leur extrême mobilité, tels que les nuances délicates de l'expression du visage, les formes que prend la bouche et parfois même les mouvements de la langue, sont saisis par la photographie. La figure 3 montre une série d'images chronophotographiques d'une femme qui parle. Notre œil, inhabile à saisir instantanément les aspects successifs du visage pendant la parole, ne voit qu'une série de grimaces dans ces images considérées isolément. Mais il n'en est plus de même si, au moyen du *phonékisticope* de Plateau ou de quelque appareil similaire, on fait passer successivement devant l'œil cette série de chronophotogrammes avec une vitesse convenable; ils se fusionnent alors en un mouvement qui n'a plus rien d'insolite et dans lequel un œil exercé peut même reconnaître les paroles prononcées.

M. Demeny, lorsqu'il était mon préparateur à la Station physiologique, a donné une forme élégante à cette synthèse du mouvement. L'appareil qu'il a construit est représenté figure 4. On y voit une série d'images du parleur, disposées, à intervalles équidistants, à la circonférence d'un disque de verre A, qui tourne d'un mouvement uniforme. Derrière ce disque, il en est un autre, B, opaque et fenestré, qui tourne beaucoup plus vite et qui, à chacune de ses révolutions, laisse arriver sur une nouvelle image le faisceau de lumière d'une lampe électrique L.

(1) Rousselot, *Principes de Phonétique expérimentale*. Paris, 1897, H. Welter.

(2) *C. R. Acad. des Sciences*, t. CVII, 1888, p. 607-609.

Ces images, éclairées par transparence, sont examinées à travers un objectif photographique, au foyer duquel elles sont placées. Leur éclairement est si rapide qu'elles ne paraissent pas se déplacer et l'on croit voir, sur une tête immobile, les traits du visage animés de mouvements. M. Demeny a donné à son appareil le nom de *photophone*. Il a pensé que de telles images seraient fort utiles pour exercer les sourds-muets à saisir, d'après les mouvements des lèvres, les paroles prononcées. Cette espérance a été confirmée par des expériences faites sur quelques élèves de M. Marichelle, professeur à l'Institution des sourds-muets. Ces élèves, déjà exercés à lire la parole sur les lèvres, ont su, pour la plupart, reconnaître sur les images en mouvement les paroles qui avaient été prononcées devant le chronophotographe.

De telles études mériteraient d'être suivies; M. Marichelle, dont on lira plus loin les recherches phonétiques, se propose de reprendre ce genre d'analyse de la parole. Les perfectionnements que j'ai réalisés dans la construction du chronophotographe projecteur rendront la tâche plus facile. On sait, du reste, qu'il existe aujourd'hui un grand nombre d'appareils, dont le plus répandu est le Cinématographe-Lumière, qui se prêtent à l'analyse et à la synthèse de toutes sortes de mouvements.

Ainsi, les actes physiologiques de la parole sont déjà, et seront de plus en plus, susceptibles d'être analysés d'une manière exacte et traduits d'une manière précise. Tantôt ils sont exprimés par des courbes continues qui en retracent toutes les phases, tantôt ils sont représentés par des images discontinues mais assez rapprochées dans le temps pour que l'œil puisse aisément saisir la transition insensible de l'une à l'autre et nous faire sentir la continuité du mouvement.

Mais, dès que le son est formé, il n'est plus qu'une succession de vibrations aériennes qui échappent à ces moyens d'analyse; on va voir par quels artifices les physiciens et les physiologistes sont arrivés à lui donner aussi une forme objective.

II. — *Inscription des sons de la voix.*

La première tentative d'inscription de la voix parlée date de 1858. Scott imagina un appareil, le *phonautographe* (*fig.* 5), qui devait, pensait-il, sténographier les paroles d'un orateur

On parlait à l'intérieur d'une sorte de cloche paraboloïde A, dont le fond était percé d'une ouverture formée par une mince membrane au centre de laquelle un léger style était collé. Ce style, obliquement incliné, se terminait par une barbule de plume; il vibrait sous l'influence de la voix et sa pointe, frottant à la surface d'un cylindre tournant couvert de noir de fumée C, y traçait des sinuosités bizarres dans lesquelles on essayait en vain de déchiffrer les paroles prononcées.

L'insuccès fut complet [1], mais Kœnig, qui avait construit l'appareil de Scott et assistait ce chercheur dans ses expériences, pensa que le phonautographe pouvait se prêter à d'autres usages. Il débarrassa la membrane des vibrations parasites qu'elle introduisait dans le tracé et, par des tensions graduées, l'accorda pour un certain nombre de sons.

Produisant alors, au moyen de tuyaux d'orgue, une mélodie courte et simple, il vit que le cylindre portait la trace d'une série de sons de tonalités et de durées variables. Pour analyser ces divers sons, Kœnig inscrivit en même temps qu'eux les vibrations d'un diapason de tonalité connue; de cette manière, il put déterminer, par comparaison, la tonalité et la durée de tous les sons de la mélodie, qui fut ainsi complètement déchiffrée. De ce moment, les membranes vibrantes purent servir à l'inscription des sons.

Donders [2] recourut au phonautographe pour analyser le timbre des voyelles; il eut soin d'amortir les vibrations propres de la membrane en y fixant des poids, mais il ne paraît pas avoir modifié la forme du style traceur.

Ce style de Scott, oblique à la membrane, vibrait souvent d'une manière désordonnée; l'œil pouvait constater que la barbule terminale semblait seule agitée de mouvement, et décrivait des oscillations de grande amplitude et de court rayon. Il était important de remplacer cet organe défectueux par un style rigide et ne pouvant osciller que dans un plan

---

(1) Scott n'a publié aucune expérience scientifique exécutée au moyen de son appareil.

(2) Donders, *Zur Klangfarbe der Vocale* (*Ann. der Physik und Chemie*, Bd 73, 1868).

perpendiculaire à la membrane, dont il suivrait fidèlement les vibrations.

C'est ce que fit Barlow (1) avec un petit levier d'aluminium, fixé par l'une de ses extrémités au bord de la membrane et relié par sa partie moyenne au centre de cette membrane. Au bout de ce levier, un petit pinceau de martre, chargé de couleur, traçait les vibrations de la parole.

Barlow s'est attaché plutôt à l'étude des articulations des sons qu'à celle des voyelles. Il prononça quelques phonèmes devant la membrane du *logographe*, — c'est ainsi qu'il appelle le phonautographe modifié, — et recueillit des tracés sur lesquels on lit certains caractères des sons articulés.

La figure 6 est le diagramme de son *be*. En A, la membrane est en repos avant l'émission du son; en B, le style est soulevé par l'explosion soudaine de la consonne *b*, à laquelle succède, en C, la vibration prolongée de la voyelle *e*.

La figure 7 est le diagramme de *eb* : A est le son de la voyelle *e*, B la clôture des lèvres au début de la consonne, C la pose consécutive, et D l'échappement de l'air qui était comprimé dans la bouche.

La figure 8 est produite par le son *beb;* on y retrouve les éléments successifs des deux premiers diagrammes.

Barlow a passé en revue les différentes formes des consonnes, les nasales comme *m* et *n*, l'*r* avec les vibrations qui en constituent le roulement. D'après lui, les consonnes *b*, *h*, *p*, *b* et *c* se caractérisent également par la méthode graphique; la difficulté de lire ces diagrammes tiendrait surtout à ce que les réactions de la voix parlée chevauchent les unes sur les autres et sont comme soudées par ce qu'on nomme des *liaisons*. Dans les tracés du logographe de Barlow, les consonnes seules sont caractérisées; mais l'emploi du pinceau chargé d'encre manque de fidélité; on va voir, du reste, que de nouveaux progrès dans la construction du style permettront de saisir aussi les caractères des voyelles.

---

(1) Barlow, *On the articulation of the human voice as illustred by the Logograph*. Soc. Royale de Londres, décembre 1876. — Séance de la Soc. française de Physique, 6 septembre 1878.

Schneebeli [1] adapta au phonautographe un nouveau style imaginé par le Dr Hipp; la figure 9 en montre la disposition. Sur une membrane de parchemin repose, en son milieu, un petit style vertical, formé d'une lame mince d'acier pliée en cornière pour en accroître la rigidité. Une pince porte une lame d'acier horizontale qui va se fixer au style vers le premier cinquième de sa longueur. Lorsque le soulèvement du style fait plier cette lame élastique, la pointe écrivante exécute des mouvements cinq fois plus étendus que ceux de la membrane. On les inscrit sur une glace très légèrement enfumée; l'amplitude des courbes tracées varie entre 2 et 10 mm.

La figure 10 montre plusieurs spécimens de ces tracés donnant les caractères graphiques de différentes voyelles. Nous n'insisterons pas sur ces formes, dont on trouvera plus loin de nombreux exemples et dont la signification sera discutée. Notons seulement que la périodicité régulière de ces courbes sinueuses fait déjà préjuger de leur exactitude. La légèreté extrême du style réduit au minimum les effets défavorables de son inertie; du reste, Schneebeli a pu charger d'une petite boule de cire son levier inscripteur, de manière à en doubler presque le poids, sans que les courbes tracées en fussent sensiblement altérées.

Hansen [2] a introduit en Allemagne un dispositif nouveau pour inscrire les mouvements de la parole et lui a donné le nom de *Sprachzeichner*. L'appareil est formé de deux pièces principales, un chariot qui porte la glace enfumée sur laquelle s'inscrivent les tracés, et un support auquel s'adapteront les organes inscripteurs. Nous croyons important de décrire cet appareil, car il réalise un notable progrès dans la phonétique graphique et parce qu'un grand nombre d'auteurs s'en sont servis pour leurs études.

La figure 11 montre la coupe du chariot. C'est un angle dièdre à parois de glaces *c* dans lequel glisse un prisme de bois évidé *d*, sur lequel repose horizontalement la lame de verre

---

(1) Société des Sciences naturelles de Neuchâtel, 25 avril et 20 novembre 1878.

(2) Hensen, *Ueber der Schrift von Schallbeweungen* (*Zeitschrift für Biologie*, Bd 83, 1887).

enfumée *g* sur laquelle s'écrivent les vibrations de la voix. Ce prisme, glissant facilement dans la rainure qui le reçoit, est entraîné, soit à la main, soit par un mouvement d'horlogerie; la glace enfumée *g* accompagne son mouvement, fixée qu'elle est par une agrafe à vis *e*.

Il s'agissait d'établir les appareils inscripteurs de façon que la pointe du style fût toujours au contact de la glace enfumée; c'est dans ce but qu'a été construit le support représenté figure 12. Une sorte de cadre *f i* articulé en *z* à un bâti, non représenté dans la figure, tombe par son propre poids sur la plaque enfumée *g*, avec laquelle il prend contact par une pointe de bois *b*. Quand le chariot chemine, le contact de la pointe qui frotte sur la plaque de verre fait que les diverses parties du support restent à une distance constante de cette plaque et que, par conséquent, les appareils munis de styles inscripteurs qu'on adaptera à ce support seront eux-mêmes à une distance constante de la plaque. Du reste, un bouton *m* permet de régler à volonté la pression du style sur la plaque, pression qui, grâce à la disposition du chariot, se maintiendra constante pendant toute la durée du tracé.

Pour les organes inscripteurs, Hensen essaya d'imiter la courbure de la membrane tympanique au moyen d'une baudruche légèrement concave. Le style qu'il employa mérite une description particulière. Le léger levier qui le forme, *p* (*fig.* 13), n'est pas articulé à sa base, mais fixé sur un axe transversal *o* maintenu entre deux étaux *n n*, et qui subit une torsion chaque fois que le levier vibre. Les mouvements sont communiqués au levier par un disque *q*, relié à la membrane et situé dans un plan vertical. Quant à l'extrémité écrivante, elle se termine par une lame mince d'acier *r*, recourbée en arrière et pressant élastiquement par sa pointe sur la glace enfumée. Cette pression élastique et constante est une nouvelle garantie de la perfection du contact du style et de la glace.

L'appareil de Hensen a servi à plusieurs auteurs pour l'inscription des sons de la parole. Wendeler (1) a obtenu le tracé

(1) Wendeler, *Ein Versuch über die Schallbeweungen einiger Konsonanten und anderer Geraüsche* (*Zeitschrift fur Biologie*, Bd 33, nº 4, 1886).

de plusieurs consonnes et autres bruits dans la parole; Martens [1] a étudié les voyelles et les diphtongues; Pipping [2], pour inscrire les courbes des voyelles, a muni le levier d'une pointe de diamant, qui traçait sur le verre des courbes microscopiques mais d'une finesse extrême. La plupart de ces auteurs ont soumis les courbes des voyelles à une analyse mathématique dont il sera question plus loin.

Il semble que la perfection soit atteinte dans l'inscription mécanique des sons de la voix : cependant plusieurs auteurs ont craint que l'inertie des organes inscripteurs produisent quelques altérations de ces courbes, et, voulant se mettre entièrement à l'abri de ces causes d'erreur, ont recours à d'autres méthodes dont nous allons parler.

III. — *Analyse des sons par les flammes manométriques.*

Les premiers essais d'inscription de la parole au moyen du style et de la membrane pour que les expérimentateurs, mis en défiance, n'aient pas cherché d'autres méthodes pour obtenir une représentation objective des sons.

Dès l'année 1862, R. Kœnig présentait à l'Exposition de Londres ses *flammes manométriques*. Nous lui empruntons la figure 14 par laquelle l'éminent acousticien a représenté les détails de son instrument.

Sur le trajet d'un tube à gaz, que la figure montre détaché et pendant sur une table, est situé un petit appareil que le gaz traverse avant de s'échapper par un bec qu'on allume.

Ce petit appareil dont on voit le détail en A, est la capsule manométrique, formée d'une cavité que cloisonne une mince membrane. Le gaz pénètre dans la moitié droite de la capsule, et s'échappe par le bec verticalement dirigé.

(1) Martens, *Ueber das Verbalten von Vocalen und Diphtongen in zesprochenen Worten* (*Zeitschrift fur Biologie*, Bd 25, 1889).

(2) Pipping, *Zur Klangfarbear der Gesengen Vocale* (*Zeitsch. f. Biol.*, Bd 27, 1890). — *Nachtrag fur Klangfarben* (*Ibid.*) *Ueber die Theorie der Vocale* (*Acta Societatis scientiarum Helsingfors*, 1894).

Jusqu'ici, la flamme du gaz ne présente rien de particulier; mais si, par une embouchure en forme de cornet acoustique, on fait arriver un son dans la moitié gauche de la capsule, la cloison se met à vibrer, comprime et raréfie tour à tour le gaz qui traverse la moitié droite, et la flamme change d'aspect. Elle vibre dans le sens vertical, s'élevant et s'abaissant tour à tour, ce qui lui donne une apparence trouble et vague, comme celle d'un diapason frotté par un archet.

Pour dissocier ces flammes de diverses hauteurs, Kœnig en recevait l'image sur un miroir tournant M; elles apparaissaient alors sous forme d'un ruban sinueux, à bords déchiquetés, sur lesquels on pouvait reconnaître le retour périodique de flammes grandes et petites; les premières, moins fréquentes, correspondaient au son fondamental, les autres, aux harmoniques de différents ordres entrant dans la constitution du timbre propre à chaque voyelle (1).

Malheureusement, ces images étaient fugitives; Kœnig en reproduisit l'aspect par le dessin, et publia d'intéressantes figures, dont nous donnons un spécimen.

La figure 15 montre la composition des sons de deux tuyaux d'orgue analysés par les flammes manométriques.

A gauche, des chiffres indiquent les rapports des nombres de vibrations des deux sons composés. On voit que, d'après leur différence de fiéquence, les vibrations s'ajoutent entre elles ou se retranchent, de manière à donner aux sommets des flammes des inflexions à retour périodiques.

Kœnig a également représenté par sa méthode l'aspect des diverses voyelles chantées sur des tonalités différentes. Cet important document sera comparé ultérieurement à ceux d'autres expérimentateurs.

Un défaut de la méthode, c'est que les images sont fugitives, et très difficiles à observer. Pour donner aux expériences une authenticité qui les rendît indiscutables, divers auteurs ont essayé de les photographier. Les premiers résultats furent peu

---

(1) Kœnig, *Quelques expériences d'acoustique*. Paris, 1882; chez l'auteur, 27, quai d'Anjou, à Paris.

satisfaisants. Gerhardt (1) se servit de la flamme de cyanogène; la figure 16 montre une des épreuves ainsi obtenues.

Doumer (2), en se servant d'un objectif à très court foyer, et de flammes de gaz carburé brûlant dans l'oxygène pur, a obtenu des images plus intenses; il a même introduit dans ses images la notion de temps, en y reproduisant les vibrations d'une flamme actionnée par un diapason chronographe.

Un de mes élèves, M. le Dr Marage (3), *a eu de très bons résultats avec l'emploi de l'acétylène; la flamme éblouissante de ce gaz se prête mieux que toute autre à l'obtention d'images intenses.*

Sur un de mes appareils chronophotographiques (4), *on enlève l'organe, nommé compresseur, qui arrête la pellicule sensible au moment de chaque éclairement; on retire également le disque fenestré, qui produit des admissions intermittentes de la lumière. Ainsi modifié, l'appareil est braqué sur la flamme vibrante, et l'on fait défiler au foyer de l'objectif une bande de papier sensible, avec une vitesse uniforme de* 1m *environ par seconde.*

M. Marage a reproduit, sans la connaître, la disposition imaginée par Doumer, et qui consiste à photographier, en même temps que la flamme du son étudié, celle d'un diapason chronographe. La figure 17 *montre, l'une au-dessus de l'autre, les images de ces deux flammes.*

Les images des flammes vibrantes présentent toutes un caractère particulier, soit qu'elles aient été dissociées par un miroir tournant, soit qu'elles aient été photographiées sur une plaque animée de vitesse; elles sont toujours inclinées, ce qui résulte de la composition de leur mouvement vertical avec une translation horizontale. Plus le papier sensible est entraîné avec vitesse, plus l'image de la flamme est inclinée. On pourrait s'étonner toutefois de ne pas voir dans le profil des flammes une forme sinusoïdale, comme cela arriverait si la flamme montait puis descendait d'une manière

---

(1) Voir Stein, *Die Licht im Dienste wissenschaftlicher Forschung.* Leipzig, 1877.

(2) Doumer, *C. R. de l'Académie des Sciences*, t. CIII, p. 340-342, 1886.

(3) Marage, *Etude des cornets acoustiques par la photographie des flammes manométriques de Kœnig*, broch. in-8o, Paris. G. Masson, 1897.

(4) *Voir*, pour la description de l'appareil : Marey, *Le Mouvement*, p. 114, Paris, G. Masson, 1894.

alternative. En réalité, la courbe sinusoïdale est interrompue et ne présente que la phase ascendante de la flamme, comme si le gaz enflammé s'éteignait presque entièrement sur place jusqu'à la flamme prochaine.

IV. — *Méthodes optiques.*

1. *Analyse des sons par la photographie d'un rayon lumineux réfléchi par un miroir vibrant.* — Dès l'apparition des appareils enregistreurs à mouvements rapides, on se préoccupa des déformations que les tracés pouvaient subir par suite de l'inertie des leviers inscripteurs, et l'on chercha à remplacer ces organes matériels par le levier idéal et sans pesanteur, c'est-à-dire par un rayon lumineux réfléchi par un miroir en mouvement. Lorsque je présentai aux physiologistes mon sphygmographe (appareil inscripteur de la pulsation des artères), Czermack le soumit au contrôle suivant. Après avoir recueilli un premier tracé du pouls de son artère, il substitua au levier du sphygmographe un petit miroir très léger que les pulsations artérielles soulevaient d'une façon imperceptible. Sur ce miroir, il fit tomber un rayon lumineux qui, après réflexion, tombait sur une plaque photographique animée d'une translation uniforme. L'image obtenue, identique au tracé du sphygmographe, démontra la fidélité de cet instrument [1].

Cette méthode devait recevoir de nombreuses applications à la phonétique expérimentale. Blake [2] parlait devant une plaque de fer pareille à celle d'un téléphone; cette plaque était munie d'un crochet qui s'adaptait près du centre d'un petit miroir vertical très léger, pivotant sur deux tourillons *cc* (*fig.* 18), et dont la face libre était bien polie. Sur ce miroir, Blake faisait tomber un faisceau de lumière parallèle, à travers une lentille convexe. Après sa réflexion, le faisceau lumineux traversait de nouveau la lentille et allait former son image sur une plaque photographique en mouvement. Les images ainsi

---

[1] Marey, *La circulation du sang*, p. 218. Paris, G. Masson, 1887.

[2] Blacke, *The American Journal of Science and Art*, 1878, 2e semestre, et *Journal de Physique*, 1879, p. 251.

obtenues étaient très nettes; nous en reproduisons un spécimen d'après l'abbé Rousselot (*fig.* 19).

Avec un ton de voix ordinaire, l'amplitude des tracés atteint $0^m,025$; celle des vibrations du miroir n'était en ce cas que de $0^{mm},125$.

Pour s'assurer que la présence du miroir n'altérait pas les vibrations sonores, Blake adapta ce miroir à la plaque d'un téléphone; les sons rendus par l'instrument ne furent pas modifiés.

Boltzmann (1) se servit d'une disposition analogue pour obtenir la courbe des voyelles. H. Rigollot et A. Chavanon (2) ont également construit un appareil à miroir. Ils ont nommé *capsule palmoptique* (3) une capsule de métal (*fig.* 20), au fond de laquelle s'ouvre un tube T, et dont l'ouverture est fermée par une mince membrane de collodion E F. Au centre de cette membrane, un petit miroir de verre argenté M est appuyé, par la torsion d'un fil tendu *a c*, sur un petit tube de caoutchouc *p* placé au centre de la membrane. Avec un bouton de réglage H, on faisait varier à volonté la torsion du fil et, par suite, la pression du miroir sur la membrane.

Enfin Hermann (4) s'est servi d'une disposition du même genre pour l'inscription des voyelles; les tracés qu'il a obtenus sont très nets; la figure 21 en donne un spécimen pour la voyelle *o*.

2. *Méthode des interférences lumineuses.* — On doit encore rattacher à la méthode optique le dispositif employé par Rops (5). J'emprunte à l'abbé Rousselot la description qu'il a donnée du dispositif imaginé par cet auteur :

« Une source lumineuse très intense A (*fig.* 22), envoie, par le

---

(1) Boltzmann, Acad. de Vienne, 1888, et *Journal de Physique*, 1882, p. 195.

(2) *Journal de Physique*, 1883, p. 553.

(3) Παλμικόσ, relatif aux vibrations.

(4) L. Hermann, *Pflüger's Archiv für gesammte Physiologie*, t. XLV, 1889, p. 582-592.

(5) Rops, *Ueber Zuftschwingungen*. — Wiedmann's, *Annalen der Physik und Chemie*, 1893, nouvelle série, t. L, p. 193 et suiv.; et Rousselot, *loc. cit.*, p. 138.

moyen des lentilles q et q^1, un faisceau lumineux parallèle d, qui, sortant à travers la fente f de 2cm sur 5 et le diaphragme b_1, tombe sur la lentille, l, dont le foyer est de 15cm, et de là sur la glace épaisse S_1 d'un appareil de Jamin à produire des interférences. Là, le rayon est divisé en deux faisceaux, a_1 et a_2, qui se dirigent parallèlement vers le miroir S_2. Le faisceau a_1 passe dans l'air libre; a_2, à travers un long tube g, de 15em de longueur, à parois métalliques épaisses et terminé par des glaces de verre h et h_1, qui débordent assez pour être traversées par le faisceau a_1. A 4 ou 5cm du tuyau s'ouvre le pavillon d'un porte-voix i, dans lequel les voyelles sont chantées, provoquant des condensations et des dilatations dans l'air libre, tandis que l'air demeure tranquille dans le tube g. Les deux faisceaux se réunissent au sortir de S_2, après avoir été amenés à l'interférence, et sont projetés à l'aide d'un objectif de Voigtländer, c, dans le champ d'une fente, e, large de 1 à 2cm et haute de 2cm. Une lentille z augmente l'intensité lumineuse, et un diaphragme b_2 empêche l'entrée des réflexions secondaires. La fente est perpendiculaire à la direction des franges; elle est fermée par un obturateur automatique électrique m. Derrière est placé un tambour T, revêtu de papier sensible, qui se déroule perpendiculairement à la fente. La mise au point se fait sur un verre dépoli que l'on substitue au tambour. »

Pour obtenir la figure des voyelles (*fig.* 23), il est nécessaire de les chanter d'une voix forte. Encore n'a-t-on pu avoir d'images nettes que pour *a*, *o*, *ou* (*u*); les voyelles e, i, u, (ü) sont restées indistinctes.

Cette méthode semble atteindre l'idéal de la précision; elle exclut, en effet, tout organe matériel vibrant, membrane ou style, capable d'altérer par son inertie la forme des courbes inscrites.

Malheureusement l'absence de finesse du trait ne permet pas d'apprécier les inflexions délicates de la courbe tracée. Toutefois, à titre de contrôle des divers instruments inscripteurs, cette méthode peut rendre de grands services.

Tels sont les divers moyens que les physiciens et les physiologistes ont employés pour analyser le timbre des voyelles. De pro-

grès en progrès, ces méthodes sont arrivées bien près de la perfection. Plusieurs auteurs ont soumis les courbes des voyelles à l'analyse mathématique, ainsi qu'on le verra plus loin.

Une méthode nouvelle basée sur l'emploi du phonographe a suscité de nouvelles recherches. Le merveilleux instrument d'Edison, en restituant fidèlement les sons de la voix humaine, montre qu'il a gardé la trace de ses inflexions les plus délicates. Étudier les empruntes que porte le cylindre de cire, semblait le procédé le plus logique pour retrouver la trace de toutes les vibrations aériennes qui avaient produit ces empreintes.

Aussi, après les *méthodes directes* d'inscription des sons de la voix, aurons-nous à décrire les *méthodes indirectes* basées sur l'emploi du phonographe.

Deuxième Partie : Méthodes indirectes.

Dans une première partie ([1]), nous avons étudié les *méthodes directes* d'inscription des sons de la voix; nous allons maintenant décrire les *méthodes indirectes* et interpréter les résultats obtenus.

I. — *Examen et photographie des empreintes du phonographe*

La première idée qui devait venir, quand on vit que le phonographe contenait sur son cylindre la trace des vibrations sonores, fut d'examiner ces traces et d'en étudier le profil.

Bœke ([2]), en 1891, étudia ces empreintes au microscope, les dessina (*fig.* 1), mesura la durée des périodes de vibrations. Mac Kendrisch ([3]) dessina les empreintes du phonographe pour les sons de la voix et ceux des divers instruments (*fig.* 2). Il obtint

([1]) *Voir* la première partie de cet article dans la *Revue générale des Sciences* du 15 juin 1898, p. 445 à 456.

([2]) Bœcke, *Mikroscopische Phonogramenstudien* (*Arch. de Pfluger*, t. L, 1891, p. 297).

([3]) Mac Kendrisch, *On the Ton on Curvus of the Phonograp.* (*Journ. of Anat. and Physiol.*, july, 1895).

aussi l'inscription de courbes planes exprimant le profil des empreintes phonographiques.

Marichelle reproduisit également, par le dessin, ces empreintes; il y chercha non plus la constitution des voyelles, mais la tonalité des inflexions de la voix.

Monpilliard photographia ces empreintes et obtint de bonnes images.

Cette méthode devait céder la place à une autre plus précise : la transformation des empreintes en courbes susceptibles d'être analysées mathématiquement.

II. — *Inscription indirecte des phénomènes phonétiques.*

Le phonographe, à son apparition, n'avait pas les qualités qu'il possède aujourd'hui. Une feuille mince d'étain revêtait le cylindre et recevait les impressions de l'appareil *recorder*. Ces empreintes, sans doute défectueuses, ne restituaient, par le *reproducer*, qu'une voix altérée, d'un timbre nasillard. L'heureuse idée qu'a eue Sommer Tainter, de recouvrir le cylindre d'une couche de cire, a produit une amélioration notable des sons reproduits.

Toutefois, dès la première apparition du phonographe, le physicien A.-M. Mayer chercha, dans l'analyse des sons de cet appareil, la forme des ondes sonores. Il transforma les empreintes gravées sur le cylindre en courbes graphiques dont il était plus facile de déterminer la forme. Pour obtenir cette transformation, Mayer se servit d'un levier coudé, dont la petite branche munie d'une pointe mousse comme celle du reproducer, suivait le sillon des empreintes phonographiques. La grande branche, munie d'un style très fin, traçait sur une plaque de verre des courbes dont les inflexions correspondaient au profil des empreintes du phonographe (1).

Pour être sûr que les vibrations, dues à l'inertie du levier, n'altéreront pas la forme des courbes tracées, Mayer eut soin de réduire au minimum la vitesse des mouvements du levier, c'est-

(1) Mayer, *Journal de Physique*, avril 1878.

à-dire qu'il ralentit énormément le mouvement de rotation du cylindre phonographique.

Cette idée si simple et pourtant si féconde sera appliquée, dans la suite, par tous les expérimentateurs qui chercheront à traduire en courbes les empreintes du phonographe.

La figure 3 réunit : en A, l'aspect des empreintes sur la feuille d'étain du phonographe; en B, la courbe de ces empreintes obtenues par Mayer; en C, le profil donné par les flammes de Kœnig. Ces trois représentations correspondent à la voyelle *a*, *chantée* à petite distance de la membrane du fer du phonographe.

Jenkin et Ewing [1] ont recouru aussi à la transformation mécanique des empreintes du phonographe en courbes planes. Le dispositif fort ingénieux auquel ils ont recouru est décrit et figuré dans l'ouvrage de l'abbé Rousselot [2]. Les résultats obtenus sont représentés par la figure 4; on y voit des lignes de construction qui serviront à l'analyse mathématique de ces courbes,

Enfin, Hermann [3], combinant de la façon la plus heureuse l'emploi du miroir et la rotation très ralentie du cylindre, a obtenu des courbes admirables sur la fidélité desquelles on peut compter d'une manière absolue. Les figures 5, 6 et 7 en donnent des spécimens reproduits par la photographie.

III. — *Critique et interprétation des résultats obtenus.*

Peu de problèmes physiologiques ont fait créer un outillage aussi riche que celui qui s'applique à la phonétique expérimentale Mais cette richesse même tient à la complexité du sujet et à certains défauts de concordance entre les résultats obtenus.

L'histoire des théories du timbre de la parole a été magistra-

---

(1) Jenkin et Ewing, *Of the harmonie Analysis of certain Voyel Sounds.* (*Transl. Roy. Soc. Edimburgh*, t. III, and July, 1878, vol. XXV, Part. III, et *Nature*, 1878.)

(2) Rousselot, *Princ. de Phonétique expér.*, p. 117.

(3) Hermann, *phonophotographische Untersuchungen* (*Pflugers Archiv für Physiologie*, Bd 55, 58, 61.

lement exposée par l'abbé Rousselot; nous la ferons bien plus sommaire en essayant de rechercher la cause des désaccords signalés.

1. *Expériences et théories de Helmholtz.* — En suivant l'évolution de la phonétique expérimentale, on y trouve deux phases bien distinctes; dans la première, de Willis à Helmholtz, c'est par l'oreille seule qu'on appréciait le caractère des sons étudiés. Des théories relatives à la constitution des voyelles régnaient donc dans la science avant l'emploi des appareils inscripteurs.

Willis ([1]), en 1828, s'inspirant des machines parlantes de Kratsenstein et de Kampelen, reproduisit le son des voyelles au moyen d'anches et de tuyaux de longueur variable; d'autrefois il se servait d'une roue dentée agissant sur une lame vibrante dont on changeait la tonalité en en faisant varier la longueur. Quant on tournait la roue dentée d'une manière uniforme, tandis qu'on faisait varier la longueur de la lame, on obtenait des voyelles différentes. A mesure qu'on raccourcissait le ressort, on obtenait les voyelles dans l'ordre suivant : *ou*, *o*, *a*, *e*, *i*.

Ces expériences furent le point de départ des études sur la nature des voyelles. Weatstone, d'après Helmholtz, aurait le premier donné la véritable théorie des voyelles, dans une critique des travaux de Willis.

A la même époque, Grassmann, dont l'oreille était assez subtile pour entendre dans la voyelle *a* un son fondamental avec huit harmoniques, établit une théorie des sons de la parole dont voici les points essentiels :

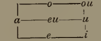
« Les cordes vocales provoquent, en émettant des sons, des résonances de la cavité buccale; il en résulte d'autres sons à peine perceptibles dont la tonalité change avec le degré d'ouverture de la bouche; ce sont des harmoniques de la note fondamentale donnée par le larynx. »

De même, dit-il, qu'en frappant une corde de piano on entend d'autres cordes vibrer et donner les harmoniques aigus du son

([1]) Willis, *On the Voyel Sounds and reed-organic Pipes* (*Transl. of the Cambridge philosophical Society*, 1830, t. II, p. 231-268.

fondamental, de même la cavité buccale ajoute sa résonance au son laryngé.

Pour classer les voyelles au point de vue du nombre des harmoniques qu'elles renferment, Grassmann donne le tableau suivant :



Dans l'*a*, qui s'obtient avec la bouche très largement ouverte, on entendrait, outre la note fondamentale, jusqu'à huit harmoniques aigus. Dans la troisième série, au contraire, il n'y aurait qu'un seul harmonique de plus en plus aigu quand on prononce ces voyelles dans l'ordre *ou*, *u*, *i*. Quant aux voyelles de la deuxième série, elles formeraient la transition entre la première et la troisième série.

Cette transition se ferait de *a* à *ou* par *o*, de *a* à *u* par *eu*, de *a* à *i* par *e*.

Donders étudia aussi, en 1864, les résonances de la cavité buccale, disposée pour l'émission de différentes voyelles. Tantôt il faisait vibrer un diapason devant l'ouverture de la bouche tantôt il émettait par le larynx ce souffle, bruyant mais sans tonalité propre que donne la voix chuchotée. Dans tous ces cas, il entendait le timbre des voyelles parfaitement reconnaissable, ce qui montrait que ce timbre est dû à la résonance de la cavité buccale.

Hemholtz enfin, dans ses mémorables expériences sur l'analyse des voyelles, se servit de résonateurs accordés pour différents tons et dont chacun renforçait l'harmonique correspondant à sa tonalité propre, lorsque cet harmonique était contenu dans le timbre de la voyelle. Dans une autre série d'expériences, il fit la synthèse des diverses voyelles en faisant vibrer à la fois des diapasons correspondant aux divers harmoniques contenus dans chacune d'elles.

Ces expériences réussissaient parfois d'une manière parfaite tandis que certaines voyelles n'étaient pas reproduites avec la même tonalité.

En somme, ces études, basées sur le seul emploi de l'oreille pour le contrôle des sons obtenus, ont donné des résultats assez

concordants pour qu'il soit établi qu'une voyelle est formée de sons multiples et de tonalité diverses. Le classement des voyelles en une triple série, suivant le tableau de Grassmann, a été adopté par Helmholtz et même par certains professeurs de chant qui ne se préoccupaient que des formes que doit prendre la bouche pour l'émission des diverses voyelles.

Quant à la tonalité propre des harmoniques contenus dans chaque voyelle, elle a donné lieu à certaines controverses. Helmholtz émit à cet égard deux théories successives.

Dans la première, il supposait que dans les sons de la voix, comme dans celui des instruments de musique, le timbre qui caractérise les voyelles « tient à ce que la note fondamentale s'accompagne d'harmoniques d'intensités relatives différentes pour chacune d'elles ».

Cette théorie ne résiste pas à l'emploi du phonographe dans les conditions suivantes. On impressionne le phonographe en chantant une voyelle dans une tonalité quelconque, tandis que le cylindre de l'appareil tourne avec une certaine vitesse; on met ensuite en place le *reproducer* et l'on fait tourner le cylindre avec une vitesse différente. Si le timbre d'une voyelle dépendait des intensités relatives de ses divers harmoniques, le changement de vitesse n'altérant point cette relation, la voyelle devrait être reproduite avec une tonalité différente, mais en conservant son timbre caractéristique. Or, il n'en est pas ainsi; la voyelle change de caractère et n'est plus reconnaissable quand on a changé la vitesse du cylindre. Hermann, qui a fait cette expérience, dit qu'elle avait déjà été faite avant lui, mais il n'en connaît pas le premier auteur. Je connais cet auteur : c'est Donders, et j'ai assisté à cette première expérience dans des conditions inoubliables.

Le phonographe venait de faire son apparition en France et le public se pressait dans la salle du boulevard des Capucines pour entendre l'admirable instrument d'Edison. Donders, de passage à Paris, me pria de le faire assister à une audition du phonographe. Émerveillé de ce qu'il venait d'entendre, Donders alla trouver le démonstrateur dans l'intervalle de deux séances et le pria de se prêter à une expérience scientifique d'un grand intérêt dont il ne définit pas autrement la nature; sa proposition

fut très courtoisement acceptée. Donders chanta alors devant l'appareil les cinq voyelles, puis il pria qu'on changeât la vitesse de rotation du cylindre avant de lui faire reproduire les voyelles chantées. Ce fut fait avec la même obligeance. Mais le public s'étant renouvelé, nous nous hâtâmes de reprendre nos places; les expériences allaient recommencer. Le démonstrateur annonça à l'assistance qu'il allait faire entendre la série des voyelles avec une netteté parfaite. Voici, dit-il, d'abord, la voyelle *a*; ce fut un *o* superbe qui sortit. Sans insister sur cet échec, on passa bien vite à une autre épreuve; la voyelle *e* fut annoncée : l'appareil répondit quelque chose qui ressemblait à *ou*. Un regard courroucé nous fit comprendre qu'il ne fallait plus compter sur l'audition des trois autres voyelles; en effet, on passa à d'autres exercices et la séance s'acheva à la satisfaction générale.

Ainsi le phonographe, qui, par les changements de vitesse de la rotation de son cylindre, transpose merveilleusement un morceau de musique instrumentale sans altérer le timbre des instruments qui l'ont exécuté, ne peut transposer les voyelles sans en altérer le caractère. Ce caractère ne tient donc pas à la différence d'intensité relative des harmoniques de divers ordres qui coexistent dans la voyelle.

Ces expériences, et d'autres encore, ayant fait rejeter sa première théorie, Helmholtz en émit une seconde, qui est la suivante :

« Chaque voyelle, dit Helmholtz, est caractérisée par la présence d'un certain harmonique, de hauteur constante, quelle que soit d'ailleurs la tonalité sur laquelle cette voyelle est chantée ou parlée ».

L'expérience du changement de vitesse du phonographe n'est point défavorable à cette seconde théorie car, en modifiant la tonalité des divers harmoniques, on pouvait faire disparaître celui qui caractérise la voyelle chantée et, par conséquent, altérer cette voyelle.

L'harmonique *caractéristique* a reçu également le nom de *vocable*; divers auteurs ont cherché à en déterminer la tonalité. Sur ce point, il s'est produit certaines divergences dont on peut juger par le tableau suivant qui représente, en face de chaque

voyelle, la vocable que lui attribuent Helmholtz et Kœnig :

VOYELLES.	HELMHOLTZ.	KŒNIG.
ou	fa$_2$	si $\flat_2$
o	si $\flat_2$	si $\flat_3$
a	si $\flat_4$	si $\flat_4$
eu	ut$_5$	
u	sol — la $\flat_5$	si $\flat_5$
e	si $\flat_5$	si $\flat_5$
i	ré$_6$	si $\flat_6$

Ce désaccord, qui semble, à première vue, considérable, du moins pour certaines voyelles, n'est en réalité pas très grand. Si l'on songe que la résonance buccale n'a qu'une sonorité assez obscure, on conçoit qu'on puisse aisément se tromper d'un intervalle d'un ton ou d'un ton et demi, comme cela existe entre *ré* et *si*, *la* et *sol*, *ut* et *si*, *fa* et *ré*. Quant aux intervalles d'une octave entre les *caractéristiques* données par deux auteurs, ils s'expliquent très facilement par la difficulté qu'on éprouve à distinguer un son de son octave grave ou aiguë quand ce son est un peu obscur.

Toutefois, il n'y a pas à se dissimuler que, parmi les voyelles, il en est trois seulement sur la *caractéristique* desquelles Helmholtz et Kœnig soient d'accord : c'est *o* si $\flat_3$, *a* si $\flat_4$ et *e* si $\flat_5$. Mais si l'on considère que, d'une langue à l'autre, chaque voyelle subit dans son timbre certaines modifications, et que même, chez des gens parlant la même langue, on observe dans le timbre de la voix des différences très marquées, on ne s'étonnera pas que des expérimentateurs différents n'aient pas trouvé des caractéristiques tout à fait semblables; on s'étonnerait plutôt du contraire, du moment que les diverses analyses ne portaient pas sur des sons identiques.

L'emploi de la méthode graphique, traduisant le son de chaque voyelle par une courbe sinueuse, paraissait devoir trancher la question du timbre; on trouverait, en effet, dans la forme de cette courbe, l'indication des divers harmoniques qui concourent à la former.

Cette recherche, toutefois, est fort délicate. Autant il est facile, étant donné une série de courbes sinusoïdales correspondant à des sons de tonalités différentes, de former, par l'addition algébrique des ordonnées de ces sinusoïdes, une courbe résul-

tante qui les renferme toutes, autant le problème inverse est difficile.

Jenkin et Ewing, puis Schneebeli, Hensen, Hermann, ont analysé mathématiquement les courbes qu'ils avaient obtenues en se basant sur le théorème de Fourier et sur la loi de Ohm. Les calculs exigeaient qu'on prît, sur une période de la courbe enregistrée, 12 à 24 ordonnées; on voit la trace de cette opération sur la figure 4 où sont représentées des courbes obtenues par Jenkin et Ewing.

2. *Expériences et théories de Hermann.* — Hermann, dont nous avons relaté les remarquables expériences, a poussé très loin l'étude mathématique des courbes relevées sur le phonographe; il a même créé, à cette occasion, une méthode simplifiée qui peut rendre de grands services aux physiciens toutes les fois qu'ils auront besoin d'analyser une courbe résultant de la composition d'un grand nombre de courbes sinusoïdales (1).

---

(1) Voici en quels termes M. Weiss résume la méthode de Hermann :

Jenkin et Ewing ayant tracé la courbe sur le papier d'après le procédé décrit, menaient un axe horizontal tangent à deux minimums successifs. Ces deux minimums comprenaient entre eux une période.

Les courbes périodiques peuvent se représenter par

$$y = A_0 + \sum_{n=\infty}^{n=1} \alpha \sin(nx + \beta),$$

n indique le rang de l'harmonique α son amplitude et β la phase. Ce qui est intéressant, c'est la valeur de l'amplitude de chaque harmonique.

On sait que y peut se mettre sous la forme :

$$y = A_0 + A_1 \sin x + A_2 \sin 2x + \dots + B_1 \cos x + B_2 \cos 2x + \dots \quad (1)$$

et que l'on a :

$$\alpha_n = \sqrt[2]{A_n^2 + B_n^2}.$$

Il faut calculer les différentes valeurs de A_n et B_n .

Pour cela, on divise la période en douze parties égales et l'on mesure les douze ordonnées ainsi obtenues. Ces douze valeurs portées dans (1) donnent douze équations permettant de calculer douze valeurs de A et B en supposant les autres valeurs nulles.

Les auteurs ont employé des résultats de la résolution de ces douze

Hermann a été conduit, par ses expériences, à faire certaines critiques de la théorie de Helmholtz.

Si l'on considère, dit-il, la cavité buccale comme un résonateur, cette cavité ne peut renforcer que certains harmoniques, pour lesquels elle est accordée. Or, si le son laryngé ne contient pas, en général, ces harmoniques, le résonateur buccal n'aura pas d'action dans ces cas. On devrait admettre en conséquence que, pour obtenir du résonateur buccal tout son effet, il faut que la voix laryngée contienne ces harmoniques et, par conséquent, chaque voyelle se chantera mieux sur une note que sur une autre. Hermann prétend qu'il n'en est pas ainsi. Mais, si nous nous permettions d'avoir dans ces questions délicates une opinion personnelle, nous croirions qu'en effet la tonalité a une influence notable sur la pureré de la voyelle chantée. Cela expliquerait pourquoi des chanteurs, peu respectueux de la diction correcte, remplacent, dans un même mot, une voyelle par une autre quand le mot est chanté sur des tons différents.

Une autre objection de Hermann est la suivante : Si une voix de basse donne la voyelle *i* sur une note très grave, le son buccal correspondrait au vingtième et peut-être au trentième harmonique de la voix laryngée; or, les harmoniques de cet ordre n'étant pas contenus dans le son du larynx, ne peuvent être renforcés.

équations faites par M. Tait après avoir vérifié l'exactitude de ces opérations.

Voici ces résultats :

$$A_0 = \frac{1}{12}(\ y_1 + y_2 + y_3 + \ldots + y_{12}),$$

$$A_1 = \frac{1}{12}(2y_1 + y_3 - y_5 - 2y_7 - y_9 \ldots).$$

En appliquant ces formules aux diverses courbes obtenues, ils ont déterminé la valeur des cinq premiers harmoniques entrant dans la constitution des sons.

Les tables I, II, III, IV, etc., de leur mémoire donnent les harmoniques des courbes représentées sur les planches.

Hugo Pipping emploie le même procédé pour calculer les amplitudes des harmoniques, mais, en plus, il évalue l'erreur probable commise en s'arrêtant à un terme déterminé.

(*Voir* page 751 du Mémoire.)

Ici encore, nous nous permettrions de dire que les *i* chantés par une basse-taille nous ont toujours paru dénaturés.

Quoi qu'il en soit de la valeur des objections qui viennent d'être rapportées, Hermann propose une modification de la théorie de Helmholtz; voici en quoi elle consiste :

Il admet que le son buccal se produit d'une manière indépendante et qu'il importe peu que ce son soit harmonique ou non avec la période du son laryngé. En effet, la longueur d'onde de la *caractéristique*, mesurée directement sur les courbes, ne correspond pas, en général, à une fraction simple de la longueur de la période. Il pense que la cavité buccale résonne d'une façon intermittente, à chaque période du son laryngé, de sorte que les *caractéristiques* n'ont généralement pas de relation harmonique avec la voix laryngée. Une voyelle serait donc un phénomène acoustique spécial, consistant dans la production intermittente de la *caractéristique*, c'est-à-dire de la résonance buccale, à chaque période du son laryngé.

Guidé par cette théorie, l'auteur a réussi à produire artificiellement des voyelles. Ainsi la *caractéristique* de *a* étant, comme il l'admet, le *sol* majeur (1600 v. d.), si l'on produit simultanément deux sons, l'un un peu plus grave et l'autre un peu plus aigu que le sol_4, on entendra le son grave différentiel (son Tartini); or, ce dernier son présente très nettement le caractère de *a*, comme le faisait prévoir la théorie. C'est avec une double sirène de Helmholtz que cette expérience réussit le mieux.

Hermann a également produit la voyelle *a*, par un procédé analogue à celui de Willis, en faisant frotter le bord d'une carte sur une roue dentée dont la période correspondait à la caractéristique de cette voyelle. Et si les dents de cette roue présentaient des interruptions périodiques, de manière à rendre le son intermittent, on entendait le *son d'intermissions* (Kœnig) avec le caractère de la voyelle *a*.

Du reste, Hermann admet que la tonalité de la *caractéristique* puisse varier beaucoup sans altérer le caractère de la voyelle. Pour *a*, par exemple, la caractéristique peut varier de fa_4 majeur à la_4, et cela sur un même sujet. Voici, du reste, le tableau dressé par Hermann, des *caractéristiques* des différentes voyelles, avec les variations de tonalité que ces harmoniques peuvent pré-

senter sans altérer le caractère de la voyelle. Les écarts notables signalés dans ce tableau expliquent le désaccord entre les tonalités indiquées par les divers auteurs pour la *caractéristique* d'une même voyelle.

Allemand.	Français.				
U	*ou*	ut_3-fa_3	ut_4-mi_4		
O	*o* (tôt)	—	ut_4-$ré_4$ maj.		
A*o*	*o* (robe)	—	mi_4-fa_4		
A	*a* (grâce)	—	fa_4-la_4		
A*e*	*è* (grêle)	—	ut_4-mi_4	fa_5 maj.-la_5 maj.	
E	*é* (dé)	—	$ré_4$-mi_4	la_5 maj.-si_5	
O*e*	*eu* (vœu)	—	—	fo_5 — sol_5	
U*e*	*u* (vu)	—	—	la_5 — si_5	
I	*i* (pli)	—	—	— —	mi_6-fa_6

Enfin, Hermann a contrôlé, par la synthèse, la fidélité des courbes phonographiques qu'il avait tracées par la photographie d'un rayon lumineux (1).

Il a fait découper des bandes de laiton suivant le profil des courbes phonographiques, et a soumis ces bandes en mouvement à la soufflerie d'une sirène de Kœnig. Dans ces conditions, le son de la voyelle sort très pur, pourvu qu'on ait eu soin de régler le mouvement de la bande de telle sorte que les émissions d'air de la sirène correspondent à la tonalité sur laquelle on a chanté la voyelle. Mais si l'on change la vitesse de la bande découpée, il se produit le même phénomène que si l'on change, dans le phonographe, la vitesse de rotation du cylindre, c'est-à-dire que la voyelle perd son caractère.

Ainsi, un fait saisissant se dégage des études qui précèdent : c'est que chaque voyelle est caractérisée par la présence d'un harmonique de hauteur sensiblement constante, mais *non absolument fixe*. Cela explique les différences entre les résultats obtenus par les divers expérimentateurs, et cela s'accorde avec les différences que chacun peut observer dans les caractères des voyelles, suivant la personne qui les prononce.

3. *Expériences de M. Marage. — La difficulté d'accorder entre eux les résultats obtenus par les divers expérimentateurs*

---

(1) *Arch. de Pflüger*, t. LXVIII, p. 578.

semble avoir ralenti le zèle des physiciens et des physiologistes et lassé leur ardeur à poursuivre la caractéristique *ou* vocable *à tonalité fixe pour chaque voyelle.*

Toutefois, M. Marage a entrepris dernièrement, à la Station physiologique, des études qui éclairent la question d'un nouveau jour en révélant certaines causes des désaccords observés.

On a vu plus haut comment cet expérimentateur photographie les flammes de Kœnig en se servant, pour les produire, du gaz acétylène. Les photogrammes obtenus ne se prêtent point à l'analyse mathématique comme les courbes inscrites par les divers auteurs, mais permettent de reconnaître chaque voyelle d'après l'aspect caractéristique qu'elles donnent aux flammes (fig. 8). *Or, suivant que ces flammes sont simples ou groupées par deux ou par trois, M. Marage classe les voyelles de la façon suivante :*

Voyelles

a 3 flammes.	a 2 flammes.	a 1 flamme.
	o	*ou*
a	*eu*	*u*
	e	*i*

C'est, on le voit, la classification adoptée, pour des raisons diverses, par Grassmann, par Helmoltz et par certains professeurs de chant.

Or, un premier fait important est que, pour chaque voyelle, le nombre et le groupement des flammes varient suivant qu'on la prononce en se servant d'un cornet acoustique pour la transmettre à la capsule manométrique, ou bien que la voyelle est émise soit directement contre la membrane de cette capsule, soit à travers un tube très large et très court.

C'est en supprimant tubes et embouchures qu'on a obtenu la série représentée dans la figure 8, *que l'on doit considérer comme représentant la forme la plus pure des voyelles.*

Cette forme sera altérée si nous introduisons des organes nouveaux entre la bouche du parleur et la capsule manométrique.

En effet, la voyelle a, sans embouchure, donne trois flammes à chaque période (fig. 8); *elle en donne quatre (fig.* 9), *si l'on se sert pour la recueillir d'un cornet acoustique, pareil à celui de Kœnig ou à celui qu'Edison adapte au phonographe.*

Il est donc à peu près certain que la plupart des auteurs, en employant des cornets et des tubes longs pour transmettre le son des voyelles soit au phonographe, soit aux appareils inscripteurs directs, ont inconsciemment altéré le timbre de ces sons.

Ce ne serait point, toutefois, une cause de désaccords entre les résultats des expériences, si toutes les voyelles transmises dans des conditions identiques avaient toutes subi la même altération; mais les dispositifs changent avec les expérimentateurs, de sorte que la courte embouchure de l'inscripteur de Schneebeli doit moins altérer le timbre que le cornet et le long tube du phonographe.

Le phonographe lui-même, que l'on considère comme restituant avec une fidélité parfaite le son de la voix, lui fait subir certaines altérations.

Il serait impossible de confondre la voix d'un parleur directement entendue avec celle que restitue le phonographe. Et malgré l'énorme progrès obtenu par la substitution du cylindre de cire à l'ancien cylindre à feuille d'étain, l'altération du timbre est encore assez sensible.

Faut-il l'attribuer tout entière à l'imperfection des organes transmet eurs du son, ou admettre que des altérations du timbre ont pu se produire, soit par la sonorité propre de la membrane, soit par l'imperfection des empreintes gravées ? Il est difficile de se prononcer à cet égard; mais l'altération est réelle, et le fait seul des changements obtenus dans le timbre, suivant la matière dont est formée la membrane du phonographe, montre que les vibrations propres de cette membrane ont une influence notable sur les qualités du son.

Une conséquence pratique des expériences de M. Marage est relative à l'éducation des sourds-muets. On sait qu'on arrive à rendre à ces sujets l'usage de la parole; mais, chez tous, on n'obtient qu'une voix étrange, fortement altérée dans son timbre. Or, parmi les sourds-muets, il en est un grand nombre qui conservent un rudiment d'audition, et qui, bien qu'incapables d'entendre directement la voix parlée, perçoivent cependant les sons lorsqu'on parle très fort dans un cornet acoustique.

Mais alors, si, comme chacun peut s'en convaincre, la voix est altérée dans son timbre par la résonance du cornet, il est tout naturel que les sujets qui n'entendent qu'une voix altérée ne cherchent à

reproduire que les sons qu'ils ont perçus; — de là provient le caractère étrange et monotone des paroles qu'ils articulent.

M. Marage démontre également, par ses expériences, qu'on a tort de soumettre indifféremment à la recherche de leurs caractéristiques : les voyelles chantées et les voyelles parlées.

Le chanteur, en effet, préoccupé surtout d'obtenir la sonorité de la note qu'il émet, s'attache moins à conserver la vocable *de la voyelle; le parleur, au contraire, ne recherche que la prononciation parfaite et respecte la vocable de la voyelle parlée sans se préoccuper de sa tonalité.*

A l'appui de ces vues, M. Marage prononce la voyelle é (parlée) et en photographie les flammes, puis il chante la même voyelle sur des tonalités diverses. Dans le premier cas, la voyelle présente des flammes groupées deux à deux; dans le second, les flammes sont équidistantes, et leur fréquence correspond à la tonalité de la voyelle chantée, masquant tout à fait sa forme caractéristique.

C'est donc sur les voyelles parlées qu'il faut chercher la vocable. M. Marage l'a fait pour plusieurs de ces voyelles et, d'après le nombre total des flammes, il a estimé la tonalité de leur vocable.

Il semble ressortir enfin des expériences de M. Marage que certaines voyelles seraient les résultantes de la combinaison de deux autres voyelles. De ce genre seraient les voyelles de la deuxième série de Grassmann, c'est-à-dire e, ou, o, qui, toutes, se caractérisent par une période à deux flammes sur les images photographiques.

Pour Grassmann, ces voyelles établiraient une transition entre l'a, aux harmoniques nombreux, et ou, u, i, qui n'ont qu'un harmonique. Pour M. Marage, é résulterait de la combinaison de a avec i; eu, de a avec u; o, de a *avec ou. L'auteur donne de cette combinaison des preuves multiples.*

D'abord en employant pour conduire le son des voyelles à la capsule manométrique un tube en Y, *il fait prononcer simultanément devant l'une des bifurcations du tube, la voyelle a, et devant l'autre, la voyelle i; dans ces conditions, l'image photographique recueillie à la troisième branche présente deux flammes, ce qui est le nombre correspondant à la voyelle é. Il obtient des résultats semblables par la combinaison de a avec u et ou; dans tous ces cas, l'image résultante n'a que deux flammes à chaque période.*

L'auteur, d'autre part, a contrôlé par l'oreille cette combinaison

des voyelles. Il se sert pour cela du tube en Y *dont il place la branche terminale dans son oreille, tandis que deux personnes prononcent deux voyelles différentes en tenant chacune au devant de sa bouche l'une des branches de bifurcation. Si les voyelles i et a sont ainsi prononcées simultanément, la résultante entendue est un é pour les autres voyelles, la résultante s'entend avec moins de netteté.*

M. Marage s'explique ainsi la confusion qui se produit parfois dans les chœurs lorsque dzs paroles différentes sont chantées par les différents choristes. La superposition de deux voyelles donne alors naissance à une troisième.

Dans cette combinaison, il semble que le vocable des voyelles de la troisième série se retranche *de celle de la première, ainsi :*

$$a + (-i) = é,$$
$$a + (-u) = eu,$$
$$a + (-ou) = o.$$

Ces équations seraient également vraies si l'on remplaçait les voyelles par le nombre de vibrations de leur √ocable.

Ces expériences fort intéressantes tendraient à orienter les nouvelles études phonétiques dans une direction nouvelle, En prenant soin d'écarter l'influence des cornets et des tubes de transmission et en prononçant des voyelles directement au devant d'une membrane munie d'un style inscripteur, on obtiendrait sans doute des tracés de grande finesse et dépourvus des vibrations parasites qui semblent avoir été l'une des causes principales du désaccord entre les résultats d'expériences. Ces recherches rentrent dans le programme que s'est donné M. Marage.

L'étude des voyelles n'est pas la seule qui emprunte le secours de la méthode graphique; on a vu que Barlow a inscrit les mouvements de l'air produits par l'émission de certaines syllabes où le caractère des consonnes *s'indiquait assez nettement.*

D'autre part, un linguiste, M. Meyer, a obtenu dans le laboratoire d'Hermann des empreintes phonographiques sur lesquelles il déterminait la tonalité *de la voix parlée. D'après lui, dans la plupart des mots, la pénultième syllabe a d'ordinaire une tonalité plus élevée, tandis que la dernière prend un ton un peu plus grave.*

En recourant à la même méthode, M. Marichelle a constaté des changements de tonalité beaucoup plus variés et plus intenses que

ceux que signale Meyer. Certains exemples qu'il cite montrent que, dans les intonations exclamatives ou interrogatives, la voix parcourt parfois plus d'une octave sur une seule syllabe.

Ces inflexions de la voix donnent à la parole son expression et sa vie. Il est douteux que l'emploi du phonographe, en donnant de ces nuances délicates une démonstration objective, permette de corriger chez les sourds auxquels on parvient à rendre l'usage de la parole, ce timbre monotone qui le fait reconnaître. Mais l'instrument d'Edison semble s'appliquer surtout à l'étude du langage chez les sujets normaux, et à leur faire acquérir, en les rendant plus sensibles, toutes les délicatesses qui font le charme de la parole.

On trouvera dans l'emploi de cet instrument un véritable étalon, *permettant d'apporter la précision et la mesure dans le domaine, assez vague jusqu'ici, de la phonétique.*

Ce que le phonographe ne sera pas apte à traduire, on le demandera à d'autres appareils; ainsi, pour le mécanisme des actes physiologiques de la parole, les appareils de Rosapelly, modifiés par Rousselot, donnent de précieux renseignements. La chronophotographie décèlera les mouvements apparents qui se produisent dans la phonation.

L'exposé qui vient d'être fait des ressources que possède aujourd'hui la phonétique expérimentale, montre qu'après de longs tâtonnements cette science est désormais engagée dans une voie plus sûre; possédant des moyens de mesure exacts, elle fera de rapides progrès : c'est ce qui est arrivé pour toutes les sciences.

IV.

Bulletin de l'Académie de Médecine, 18 juin 1900, présentation de la *Théorie de la Formation des Voyelles*, par J. MAREY, président de l'Académie.

PRÉSENTATIONS D'OUVRAGES MANUSCRITS ET IMPRIMÉS.

M. le Président : J'ai l'honneur de présenter, au nom de M. le Dr MARAGE, un Mémoire sur la formation des voyelles. Dans cet important travail, l'auteur passe en revue les diverses théories successivement émises : celles de Helmholtz, de Hermann, de Guillemin. Il montre par des expériences l'insuffisance de chacune de ces théories; enfin, il établit par des expériences tout à fait démonstratives que le caractère des voyelles tient à certaines périodicités dans les vibrations laryngées. Les voyelles se forment dans le larynx lui-même et l'on peut, par la synthèse, reproduire suivant la théorie de M. Marage les différentes voyelles avec leurs caractères bien franchement reconnaissables, et cela même pour É et pour I dont la reproduction synthétique n'avait pas encore été obtenue.

Ce Mémoire est renvoyé au concours du prix Barbier. — (*Commission spéciale.*)

V.

Comptes rendus, 1900, p. 1082. Prix Barbier. (Commissaires : MM. Bouchard, Potain, Guyon, Guignard, Laisne, Congue, Marey). Rapport de M. MAREY sur *la Théorie de la formation des voyelles*, par le Dr MARAGE.

Une grande incohérence régnait dans les résultats obtenus par les divers auteurs qui ont étudié les voyelles par la méthode graphique. M. Marage a montré que le désaccord paraît à l'introduction dans es tracés, de vibrations parasites qui les déforment et qui appartiennent en propre aux pièces diverses : embouchure, tubes, plaques ou leviers qui transmettent et inscrivent les mouvements de l'air. En supprimant ces influences nuisibles, M. Marage a obtenu des figures concordantes entre elles, soit au moyen de flammes vibrantes photographiées, soit en recourant au style inscripteur de Schneebeli.

L'analyse graphique, faite dans ces conditions, donne pour chacune des voyelles fondamentales des caractères qu'on retrouve constamment et qui montrent que certaines d'entre elles sont formées de vibrations équidistantes, tandis que pour d'autres les vibrations se groupent périodiquement deux à deux ou trois à trois.

La synthèse vérifie ces faits en reproduisant le timbre des diverses voyelles en même temps que les courbes qui les caractér sent. Dans cette synthèse, l'action du larynx est celle du résonateur buccopharyngé ont été imitées de la façon suivante :

Une sirène électrique, dont les fentes sont tantôt équidistantes, tantôt groupées par deux ou par trois, est actionnée par une soufflerie sous une pression de quelques millimètres d'eau. Cette sirène, à elle toute seule, fait entendre le son des diverses voyelles d'une façon très reconnaissable. Mais la pureté des voyelles est sensiblement plus parfaite quand le son émis par la sirène passe par un résonateur approprié. Ce résonateur n'est

autre que le moulage en creux de la cavité buccale dans les diverses positions qu'elle prend lorsque nous prononçons les diverses voyelles.

Ces résultats confirmés par le double contrôle de l'analyse et de la synthèse, ont vivement frappé la Commission : elle propose de décerner une partie du prix Barbier à M. le Dr Marage.

VI.

Bulletin de l'Académie de Médecine, 1er juillet 1902.

Extrait du rapport sur les travaux adressés au Concours pour le Prix Meynot, au nom d'une Commission composée de MM. DUPLAY, FRANÇOIS FRANCK et MAREY *rapporteur.*

« Messieurs, votre Commission a eu à examiner 11 travaux dont elle vous rend compte aujourd'hui. Nous ne suivrons pas, dans cet exposé, les numéros d'ordre; les mémoires 1 et 8 provenant du même auteur, nous commencerons par le travail nº 2, et réunirons en un seul les travaux 1 et 8.

» Nos 1 et 8 : On a réuni sous ces numéros de nombreux mémoires que le Dr MARAGE a présentés depuis sept ans à l'Académie de Médecine, à la Société de Biologie, à l'Académie des Sciences et à la Société de Physique.

» Les travaux qui rentrent le plus particulièrement dans le programme du prix Meynot sont les études de l'auteur sur l'acuité auditive, celles sur la fonction de la chaîne des osselets, sur la composition du liquide de l'oreille interne et des otolithes. Toutes ces études conduisent M. Marage à des applications pratiques, soit au diagnostic, soit au traitement des maladies de l'oreille, non pas de ces lésions graves qui nécessitent l'intervention chirurgicale et dont la plupart des autres concurrents se sont à peu près exclusivement occupés, mais de ces surdités, si répandues, auxquelles échappent peu de personnes quand elles avancent en âge. L'Académie connaît une grande partie des travaux de M. Marage, et votre rapporteur a eu l'honneur de lui en présenter quelques-uns, ceux, par exemple, qui sont relatifs à la formation des voyelles et sont intimement liés à l'étude de la surdi-mutité.

» Ce rapport pourra donc se déduire à un rappel sommaire de travaux que nos collègues connaissent déjà en grande partie.

» *Mesure de l'acuité de l'audition.* — On a pu dire avec raison qu'un bon acoumètre n'existait pas encore, et cela était vrai jusqu'ici. L'emploi du diapason, du bruit d'une montre ou de tout autre moyen de produire des sons ou des bruits ne constitue pas une mesure rigoureuse. Comment égaliser la sonorité des divers diapasons, la force du choc qui les met en vibration ? comment mesurer avec exactitude le moment où un son qui s'évanouit cesse d'être entendu par le malade ?

» Et puis, dans la pratique, la surdité à la voix parlée précède de beaucoup la surdité aux sons musicaux; ces deux infirmités n'ont pas de commune mesure.

» M. Marage a réussi à créer un instrument donnant de l'acuité auditive une mesure précise.

« Ses études sur la phonation l'ont conduit à reproduire par la synthèse les sons des voyelles au moyen d'une sirène munie d'un résonateur. Les sons que l'on soumet à l'audition du malade sont donc bien ceux de la voix; on en gradue l'intensité en réglant la pression de l'air dans la soufflerie de la sirène et, si l'on constate qu'un sujet, qui, à 50^{cm} de distance, n'entendait le son de la sirène qu'avec une pression de 10^{mm}, l'entend aujourd'hui avec une pression de 7, on en conclut que l'audition est améliorée, et cette amélioration a pour mesure 3°.

» Le rôle de la chaîne des osselets de l'ouïe, bien connu dans son mécanisme essentiel, l'était mal en ce qui concerne l'étendue de ses mouvements. Helmholtz lui-même en avait donné une estimation exagérée, même en tenant compte de la réduction d'un quart que subissent ces mouvements entre le tympan et la fenêtre ovale. M. Marage a montré que, loin d'atteindre 1/10 de millimètre, l'amplitude des vibrations de l'étrier est de l'ordre des millièmes de millimètre.

» Il s'ensuit que, dans la pratique du massage du tympan, on recourait à des forces exagérées, pouvant être dangereuses et, en tout cas, imprimant à la chaîne des osselets des mouvements tout autres que ceux qu'elle doit recevoir dans les conditions physiologiques. Aussi, est-ce par des sons d'intensité bien réglée que M. Marage imprime à la chaîne des osselets des mouvements d'amplitude convenable, et il justifie les bons effets de cette méthode par une statistique déjà longue. Dans

son traitement de l'otite scléreuse, les cas rebelles sont rares, les améliorations notables sont la règle, les guérisons absolues sont fréquentes. Chose curieuse, qui résulte des tableaux de l'auteur, les cas les plus rebelles ne sont pas ceux qui correspondent aux surdités les plus prononcées.

» Dans ces tableaux, la mesure de l'acuité auditive est représentée avec sa valeur avant ou après le traitement.

» *Composition du liquide de l'oreille interne et des otolithes.* « — Le liquide de l'oreille interne est d'une densité très élevée : 2,18, on n'a pu le recueillir en quantité suffisante pour en analyser la constitution chimique. Quant aux otolithes en suspension dans ce liquide, l'auteur a constaté que la radiographie pouvait déceler leur présence chez la grenouille. Grâce au concours de M. Moissan, il en a déterminé la composition. Ces otolithes sont formés de bicarbonates de chaux et de magnésie avec des carbonates en excès. Le rôle de ces corps est peut-être de maintenir à un degré constant la densité et le pouvoir conducteur du liquide dans lequel ils baignent.

» Certains sels acides de quinine décomposent les otolithes. Agiraient-ils de cette façon pour produire les bourdonnements d'oreille dans la médication quinique ? C'est une simple hypothèse à laquelle donnerait quelque vraisemblance ce fait, que l'éthylcarbonate de quinine, qui n'a pas d'action sur les otolithes, peut être employé sans produire sur les malades les bourdonnements d'oreille caractéristiques.

» Nous ne parlerons pas des études de l'auteur sur le traitement de la surdi-mutité ; ces travaux, déjà connus de l'Académie, sont liés intimement à ceux qu'il poursuit depuis longtemps et avec succès sur la physiologie de la phonation. »

VII.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 18 décembre 1911.

Prix Montyon (Physiologie expérimentale). (Commissaires : MM. Chauveau, Bouchard, Roux, Laveran, Dastre, Henneguy ; d'Arsonval, Guignard, rapporteurs).

Le prix, d'une valeur de *sept cent cinquante francs* a été porté, pour cette année, à *mille francs*.

Le prix est partagé également entre M. Marage et M. Raoul Combes.

M. Marage a résumé, dans le *Manuel de physiologie de la voix*, douze leçons du cours libre qu'il fait depuis 8 ans à la Faculté des Sciences.

Chaque année plus de trois cents auditeurs suivent ces conférences, aussi le Conseil supérieur de l'Instruction publique a-t-il reconnu l'utilité de cet enseignement en nommant M. Marage chargé de cours à la Sorbonne.

Jusqu'ici ces questions n'étaient enseignées nulle part et l'on aurait cherché en vain dans nos programmes un cours de Physiologie de la parole et du chant; cette lacune a été heureusement comblée par la fondation de la chaire dont M. Marage a été nommé titulaire. Cet Ouvrage présente deux particularités intéressantes : d'abord toutes les matières ont fait l'objet des recherches personnelles de M. Marage, c'est donc un travail entièrement original; de plus toutes les questions sont mises à la portée des professeurs de chant et de diction, et à la fin de chaque Chapitre, nous trouvons un paragraphe indiquant les travaux à faire : c'est là une heureuse innovation, et des communications faites ici même par des élèves de M. Marage montrent que son enseignement a déjà porté ses fruits.

Le plan de cet Ouvrage est très simple; l'auteur suit la destinée d'une onde sonore depuis son point de départ : le larynx du

chanteur, jusqu'à son point d'arrivée : l'oreille de l'auditeur; il étudie donc successivement, au point de vue spécial de la voix, la physiologie des poumons, du larynx et des résonateurs supra-laryngiens, un Chapitre important est consacré à la théorie de la formation des voyelles et des consonnes; la voix parlée et la voix chantée sont étudiées, non plus par l'oreille, mais par la vue et naguère j'ai présenté à l'Académie l'appareil de M. Marage, qui permet de photographier les vibrations de la voix; en même temps qu'on parle, l'épreuve sort développée et fixée et l'on peut obtenir ainsi sans arrêt des photographies de 25^{m} de longueur.

Les architectes liront avec fruit les pages qui sont consacrées à l'acoustique des salles, et les médecins trouveront dans l'étude de l'oreille musicale des idées nouvelles entièrement basées sur des expériences de laboratoire.

Ce *Manuel de physiologie* est illustré de nombreuses figures originales reproduisant des photographies.

TABLE DES MATIÈRES.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET Cie,

75513 Quai des Grands-Augustins, 55.